

团 体 标 准

T/BIOT XXXX—XXXX

矿山用数字孪生技术应用要求

Application requirements for digital twin technology in mines

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 总体要求	2
5.1 基本要求	2
5.2 应用场景	2
5.3 实施流程	2
6 数字孪生系统架构	2
6.1 系统架构	2
6.2 物理层	3
6.3 数据层	3
6.4 模型层	3
6.5 应用层	3
7 功能要求	4
7.1 数据采集与处理	4
7.2 模型构建与管理	4
7.3 仿真与优化	4
7.4 可视化与交互	4
8 性能指标	5
8.1 数据实时性	5
8.2 模型一致性	5
8.3 系统稳定性	5
8.4 响应时间	6
9 安全要求	6
9.1 环境物理安全	6
9.2 数据安全	6
9.3 网络安全	6
9.4 访问控制	7
附录 A（资料性） 矿山数字孪生技术应用案例	8
参 考 文 献	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京物联网智能技术应用协会提出并归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

本文件为首次发布。



引 言

随着数字孪生技术在工业领域的快速发展，矿山行业正面临数字化转型的关键时期。数字孪生技术通过构建物理实体的数字化表达，建立虚实同步的数据连接，能够实现对矿山生产全过程的实时监控、仿真优化和智能决策，为矿山安全生产和高效运营提供了新的技术手段。

当前，矿山行业在智能化建设过程中亟需统一的技术规范来指导数字孪生技术的应用实施。在缺乏统一标准的情况下，矿山企业在应用数字孪生技术时面临技术路线不统一、数据格式不规范、系统集成困难等问题，导致数字孪生系统难以充分发挥其价值，也制约了矿山智能化建设的进程。

本文件依据 GB/T 43441.1 规定的参考架构和基本要求，结合 GB/T 37393 和矿山行业特点，制定了数字孪生技术应用的具体要求。本文件重点对数据采集与处理、模型构建与管理、仿真优化、安全要求等关键技术环节提出了具体规范，通过明确技术要求和评价指标，为矿山企业实施数字孪生技术提供可操作的指导依据。

本文件的实施将有效规范矿山数字孪生技术的应用，提升系统间的互操作性和数据共享能力，降低系统集成成本，促进矿山生产过程的透明化、可视化和智能化，提高生产效率和安全管理水平，为矿山行业的数字化转型提供有力支撑。

矿山用数字孪生技术应用要求

1 范围

本文件规定了矿山用数字孪生技术应用的总体要求、系统架构、功能要求、性能指标和安全要求。

本文件适用于矿山企业、设计单位、设备制造商、系统集成商等在矿山规划建设、生产运营、设备管理、安全监控等环节中数字孪生技术的应用，涵盖露天矿、地下矿及选矿厂等场景。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 21052 信息安全技术 信息系统物理安全技术要求
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范
- GB/T 37393 数字化车间 通用技术要求
- GB/T 43441.1 信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数字孪生 digital twin

具有保证物理状态和虚拟状态之间以适当速率和精度同步的数据连接的特定目标实体的数字化表达。

[来源：GB/T 43441.1—2023, 3.4]

3.2

目标实体 target entity

现实世界中被选中进行数字化映射的实体。

注：在矿山应用中，目标实体包括地质体、采掘设备、运输系统、通风系统、人员等。

[来源：GB/T 43441.1—2023, 3.2, 有修改]

3.3

数字实体 digital entity

目标实体的数字化映射。

[来源：GB/T 43441.1—2023, 3.2]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AR：增强现实（Augmented Reality）

GIS：地理信息系统（Geographic Information System）

MES：制造执行系统（Manufacturing Execution System）

SCADA：数据采集与监视控制系统（Supervisory Control And Data Acquisition）

VR：虚拟现实（Virtual Reality）

5 总体要求

5.1 基本要求

- 5.1.1 矿山用数字孪生技术应用应遵循 GB/T 43441.1 规定的通用要求，并结合矿山行业的特殊需求进行设计和实施。
- 5.1.2 数字孪生系统的构建应以实际矿山生产环境为基础，通过数字化手段实现物理矿山与数字实体的实时映射与交互。
- 5.1.3 矿山数字孪生系统应具备以下基本能力：
- 数据采集能力：覆盖矿山生产全过程的多源异构数据采集；
 - 模型构建能力：建立多尺度、多维度的数字实体模型；
 - 孪生互动能力：实现虚实双向数据流动与控制反馈；
 - 仿真分析能力：支持生产优化、安全预警和决策支持；
 - 可视化能力：提供二维、三维及沉浸式交互展示；
 - 安全保障能力：满足矿山特殊环境下的功能安全与信息安全要求。
- 5.1.4 矿山数字孪生技术的应用应符合 GB/T 37393 中关于数字化车间的基本技术要求，应满足矿山安全生产、资源高效利用和环境保护等特殊要求。
- 5.1.5 系统应具备可扩展性和兼容性，应与现有矿山信息化系统（如 MES、SCADA、GIS）无缝集成。

5.2 应用场景

矿山数字孪生技术主要应用于以下场景：

- 生产监测与优化：实时反映矿山生产状态，为生产调度和工艺优化提供数据支持；
- 设备健康管理：实现关键设备的实时监测和预测性维护，降低设备故障率和维护成本；
- 安全预警与应急响应：模拟潜在危险情况，提前制定应急预案，提高矿山安全管理水平；
- 资源规划与调度：结合地质模型和生产数据，优化采矿计划和资源分配；
- 人员培训与演练：利用虚拟仿真技术，为矿山工作人员提供安全、高效的培训环境。

矿山数字孪生技术主要应用场景及功能见表 1。

表 1 矿山数字孪生技术主要应用场景及功能

应用场景	主要功能	典型实施周期（月）
生产监测与优化	实时数据采集、生产状态分析、工艺优化	3~6
设备健康管理	设备状态监测、故障预测、维护计划制定	4~8
安全预警与应急响应	危险源识别、应急预案制定、应急演练	6~12
资源规划与调度	地质建模、采矿计划优化、资源分配	8~12
人员培训与演练	虚拟操作培训、安全演练、技能评估	3~6

5.3 实施流程

矿山数字孪生系统的实施应遵循以下阶段：

- 需求分析与系统规划：明确业务目标、功能需求和实施范围，制定技术路线和实施方案；
- 数据采集与治理：部署传感器网络，建立数据传输通道，实施数据清洗与标准化；
- 模型构建与验证：建立几何模型、物理模型、行为模型和规则模型，进行模型校准与验证；
- 系统集成与部署：实现与现有信息系统的数据互通和功能协同，完成系统部署；
- 测试验证与优化：进行功能测试、性能测试、安全测试和试运行优化；
- 运行维护与持续改进：建立运维机制，定期更新模型和数据，持续优化系统性能。

6 数字孪生系统架构

6.1 系统架构

矿山用数字孪生系统应符合 GB/T 43441.1 规定的参考架构，采用“目标实体—孪生互动—数字实体—服务应用”的概念模型，并在技术实现上划分为物理层、数据层、模型层、应用层四个层次。系统架构应遵循模块化、可扩展和互操作性原则，确保适应不同规模矿山的生产需求。矿山数字孪生技术应用

案例见附录 A。

6.2 物理层

6.2.1 物理层对应目标实体，负责矿山生产现场各类物理实体的部署与数据采集，应包括：

- a) 传感器网络；
- b) 工业控制系统；
- c) 定位与识别设备；
- d) 边缘计算设备。

6.2.2 物理层设备选型应考虑矿山环境的特殊性，满足防爆、防尘、防水等工业级防护要求。物理层主要设备技术要求见表 2。

表 2 物理层主要设备技术要求

设备类型	技术要求	数据采集频率
环境传感器	IP65 防护等级，-20℃~60℃工作温度	1 次/s
设备状态传感器	防爆认证，4 mA~20 mA 输出	10 次/s
定位设备	厘米级精度，抗多径干扰	5 次/s
视频监控	1080 P 分辨率，低照度性能	25 帧/s
边缘网关	双网口冗余，本地数据缓存	聚合转发

6.3 数据层

6.3.1 数据层实现孪生互动功能，负责数据的存储、处理和分析，应包括：

- a) 测量与感知：通过传感器网络获取目标实体的几何特征、物理属性、运行状态等数据；
- b) 反馈与控制：将数字实体的分析结果反馈至物理设备，实现远程控制与优化决策；
- c) 数据存储：建立数据湖或数据仓库，实现结构化数据和非结构化数据的集中管理；
- d) 数据处理：包括数据清洗、数据融合、数据标准化、时序对齐等。

6.3.2 数据存储周期应根据数据类型和业务价值进行分级管理，关键生产数据存储周期不应 ≤ 5 y。

6.4 模型层

6.4.1 模型层构建数字实体，负责建立和运行数字孪生体。模型应包含：

- a) 几何模型：目标实体的三维几何表达，包括地形地貌、巷道工程、设备结构等；
- b) 物理模型：描述目标实体的物理属性、力学特性、运行机理等；
- c) 行为模型：描述目标实体的运行逻辑、工艺流程、状态转换等；
- d) 规则模型：描述知识规则、约束条件、优化策略等。

6.4.2 模型层应支持模型的动态更新机制，应根据实时数据自动调整模型参数。模型精度应满足不同应用场景的要求。模型类型及精度要求见表 3。

表 3 模型类型及精度要求

模型类型	精度要求	更新频率
几何模型	关键设备 ≤ 1 mm，一般设备 ≤ 5 mm	按需更新
物理模型	仿真误差 $\leq 5\%$	实时更新
行为模型	规则匹配度 $\geq 95\%$	定期更新
规则模型	知识准确率 $\geq 90\%$	人工更新

6.5 应用层

6.5.1 应用层面向矿山生产管理提供各类业务功能和服务。应基于模型层的数字实体，开发以下应用模块：

- a) 设备监控模块：实时监测设备运行状态，提供故障预警和健康管理；
- b) 生产优化模块：分析生产数据，优化工艺参数和资源配置；
- c) 安全预警模块：识别危险源，预测安全风险，触发分级告警；
- d) 应急演练模块：模拟事故场景，支持应急预案制定和演练评估；
- e) 决策支持模块：提供数据可视化和分析报告，支持管理决策。

- 6.5.2 应用层应采用微服务架构，确保各功能模块的独立性和可扩展性。
- 6.5.3 系统响应时间应满足业务实时性要求，关键操作响应时间不应超过 2s，一般查询操作响应时间不应超过 5s。
- 6.5.4 应用层应提供数据可视化功能，支持二维、三维等多种展示方式。

7 功能要求

7.1 数据采集与处理

- 7.1.1 数据采集应覆盖矿山生产全过程的物理设备状态、环境参数、生产数据等关键信息。矿山数字孪生系统数据采集参数要求见表 4。
- 7.1.2 数据采集方式包括但不限于传感器网络、工业物联网设备、人工录入系统等。
- 7.1.3 数据处理环节应满足以下技术要求：
- 数据有效性校验：原始数据应进行有效性校验，剔除异常值和噪声数据；
 - 数据归一化：多源异构数据应进行标准化处理，确保数据格式统一；
 - 时序数据处理：时序数据应进行时间对齐和插值处理，保证数据连续性；
 - 数据质量管理：数据完整性应 $\geq 99.9\%$ ，数据时效性延迟应 $\leq 1s$ 。

表 4 矿山数字孪生系统数据采集参数要求

数据类型	采集频率	精度要求	存储周期
设备状态数据	100 ms/次	$\pm 0.5\%FS$	3 y
环境监测数据	1 s/次	$\pm 1\%FS$	5 y
生产运行数据	1 min/次	$\pm 0.1\%FS$	10 y
安全监测数据	500 ms/次	$\pm 0.2\%FS$	永久

7.2 模型构建与管理

模型构建与管理应符合 GB/T 43441.1 的要求，并满足以下技术要求：

- 模型分级构建：根据应用场景选择不同精细度的建模要求；
- 模型版本控制：建立模型版本管理机制，支持历史版本回溯；
- 参数校核机制：关键参数修改需记录操作人员、修改时间和变更原因；
- 模型验证工具：提供模型输出与实际监测数据的对比分析功能。
- 模型存储格式应采用开放标准。

7.3 仿真与优化

仿真与优化功能应支持矿山生产系统的动态模拟和方案评估，并满足以下技术要求：

- 系统应具备离散事件仿真、多物理场耦合仿真、工艺流程仿真等能力，仿真时间加速比不低于 100: 1。
- 优化算法应包含遗传算法、粒子群优化等智能优化方法，支持生产调度、设备配置、能耗管理等决策优化。
- 仿真结果验证应采用实际生产数据进行反向验证，关键指标误差率应控制在 5%以内。
- 对于采掘计划仿真，应考虑地质条件不确定性，建立蒙特卡洛模拟场景库。
- 优化方案生成后，应提供多维度对比分析功能，包括经济效益、安全风险、资源利用率等评价维度。

7.4 可视化与交互

可视化与交互功能应实现矿山数字孪生系统的多模态人机交互，并满足以下技术要求：

- 三维可视化场景应支持 LOD 细节层次渲染技术，画面刷新率应 ≥ 30 fps。
- 交互方式应包括但不限于 VR/AR 设备、触摸屏、手势识别等，关键操作响应延迟应 < 200 ms。
- 系统应提供多视图协同展示功能，支持平面图、剖面图、三维场景的联动操作。
- 对于报警信息，应采用分级可视化策略，一级报警应在 0.5 s 内触发声光提示。
- 历史数据回放功能应支持时间轴精确控制，最小时间间隔可达 1 s。

f) 所有可视化元素都应符合矿山行业标准色彩编码规范，确保信息传达的准确性和一致性。可视化界面性能指标要求见表 5。

表 5 可视化界面性能指标要求

指标项	桌面端要求	移动端要求	VR 设备要求
场景加载时间	≤3 s	≤5 s	≤8 s
同时显示对象数	≥5000	≥2000	≥1000
动态光照效果	支持	简化支持	全支持
多视口同步误差	≤50 ms	≤100 ms	≤30 ms

8 性能指标

8.1 数据实时性

矿山数字孪生系统的数据实时性应符合 GB/T 43441.1 的实时性要求，并满足以下要求：

- 数据实时性应满足从数据采集到模型更新的全流程延迟不超过 500 ms，其中传感器数据采集延迟不超过 200 ms，数据传输延迟不超过 150 ms，数据处理与模型更新延迟不超过 150 ms。
- 对于关键生产设备（如采掘设备、运输设备等）的运行状态数据，系统应实现 100 毫秒级的数据采集周期，确保对设备异常状态的及时监测与预警。
- 系统应支持至少每秒 10 万条数据记录的实时处理能力，并具备数据缓冲机制以应对网络波动情况。

数据实时性指标分类见表 6。

表 6 数据实时性指标分类

指标类别	要求值	测量方法
数据采集延迟	≤200 ms	从传感器触发到数据到达采集模块的时间差
数据传输延迟	≤150 ms	从采集模块到数据处理中心的网络传输时间
处理更新延迟	≤150 ms	从数据接收完成到模型更新完成的时间
关键设备采集周期	≤100 ms	连续两次有效数据采集的时间间隔
数据处理吞吐量	≥100,000 条/s	单位时间内系统处理的数据记录数量

8.2 模型一致性

矿山数字孪生模型的一致性应符合 GB/T 43441.1 的一致性要求，分为三个维度：

- 几何一致性：数字实体与目标实体的几何特征偏差应符合表 7 规定；
- 物理一致性：物理模型仿真结果与实测数据的误差应满足静态参数误差≤2%，动态响应误差≤5%；极端工况误差≤10%；
- 行为一致性：设备运行逻辑与实际工艺流程的匹配度≥95%。

模型精度等级要求见表 7。

表 7 模型精度等级要求

精度类型	一级精度	二级精度	三级精度
几何一致性	±0.2%	±0.5%	±1.0%
物理一致性	≥95%	≥90%	≥85%
行为一致性	≥95%	≥90%	≥85%
更新频率	实时	5 s/次	30 s/次

8.3 系统稳定性

8.3.1 矿山数字孪生系统应满足 7×24 h 连续稳定运行的要求，系统稳定性指标见表 8。

8.3.2 系统应具备负载均衡能力，在 80%峰值负载下持续运行 72 h 不出现性能衰减，内存泄漏率应控制在每日不超过 0.1%。

8.3.3 系统故障恢复时间分为三级：

- 一级故障：影响生产安全；

- b) 二级故障：影响核心功能；
- c) 三级故障：一般功能异常。

8.3.4 系统应建立完善的健康监测机制，对 CPU、内存、存储等资源使用率进行实时监控。

表 8 系统稳定性指标

指标项	要求值	检测方法
年度可用性	≥99.9%	年度正常运行时间/总时间
平均无故障时间	≥2000 h	两次故障间隔的平均时间
故障恢复时间	一级≤5 min, 二级≤30min, 三级≤4 h	从故障发生到功能恢复的时间
资源预警阈值	CPU≤85%, 内存≤90%, 存储≤95%	实时监控数据采集
数据持久化可靠性	≥99.999%	数据写入成功次数/总尝试次数

8.4 响应时间

8.4.1 系统响应时间应符合 GB/T 43441.1 的实时性要求。响应时间性能指标见表 9。

8.4.2 数据查询响应时间根据查询复杂度分级：

- a) 简单查询：单条件过滤；
- b) 复杂查询：多条件组合；
- c) 统计分析查询：涉及大数据集聚合计算或多维度关联分析。

8.4.3 系统应支持至少 100 个并发用户的实时操作需求。

表 9 响应时间性能指标

操作类型	最佳值	可接受值	极限值
界面加载	≤1 s	≤2 s	≤5 s
简单查询	≤0.5 s	≤1 s	≤2 s
复杂查询	≤1 s	≤3 s	≤5 s
统计分析	≤3 s	≤10 s	≤30 s
控制指令	≤100 ms	≤200 ms	≤500 ms
状态反馈	≤200 ms	≤500 ms	≤1 s

9 安全要求

9.1 环境物理安全

矿山数字孪生系统设备环境物理安全应符合 GB/T 43441.1、GB/T 21052 的相关规定。

9.2 数据安全

数据安全应符合下列要求：

- a) 应符合 GB/T 43441.1 及 GB/T 22239 的要求；
- b) 传输安全：宜采用加密方式进行传输，关键数据应采用双向认证机制；
- c) 存储安全：应采用分级保护策略，根据数据敏感程度实施不同的加密存储方案；
- d) 完整性保护：关键数据应采用校验机制确保传输过程中的完整性；实施数据应建立防篡改机制；应对数据全生命周期建立数据质量监控和异常告警机制；
- e) 隐私保护：人员定位等敏感数据应脱敏处理，符合 GB/T 35273 要求。

9.3 网络安全

网络安全应符合下列要求：

- a) 矿山数字孪生系统的网络安全应建立多层次的防护体系，包括网络边界防护、内部网络隔离和入侵检测等；
- b) 网络架构应采用分区设计，将生产控制网络、管理信息网络和外部服务网络进行物理或逻辑隔离；
- c) 网络边界应部署防火墙、入侵防御系统等安全设备，实施严格的访问控制策略；
- d) 网络设备应定期进行安全漏洞扫描和补丁更新，确保系统免受已知漏洞攻击；

- e) 网络通信宜采用 VPN 技术建立安全通道；
- f) 网络日志应完整记录并保存至少 6 m，以便进行安全审计和事件追溯。

9.4 访问控制

访问控制应符合下列要求：

- a) 矿山数字孪生系统的访问控制应采用基于角色的权限管理机制，实现细粒度的权限分配；
- b) 系统应支持多因素认证，包括密码、生物特征和硬件令牌等多种认证方式的组合；
- c) 用户权限应根据最小权限原则进行分配，确保每个用户只能访问其职责范围内的功能和数据；
- d) 系统管理员账号应实施分级管理，关键操作应进行二次确认；对于特权账号，应实施严格的审批流程和使用监控；
- e) 系统应建立完整的操作日志记录机制，记录用户登录、操作行为和系统变更等关键事件；
- f) 日志信息应包括时间戳、用户标识、操作类型和操作结果等要素，用户角色与权限分配示例见表 10。

表 10 用户角色与权限分配示例

角色类型	数据访问权限	功能操作权限	特殊权限
系统管理员	全部数据	系统配置、用户管理	无
生产管理员	生产相关数据	生产监控、报表查看	紧急操作权限
普通操作员	岗位相关数据	日常操作、报警处理	无
审计员	只读权限	日志查看、审计分析	

附录 A
(资料性)
矿山数字孪生技术应用案例

A.1 露天煤矿数字孪生系统应用

某大型露天煤矿采用数字孪生技术实现了采掘设备的全生命周期管理和生产过程的实时监控。该系统基于 GB/T 43441.1 的要求构建，包含物理层、数据层、模型层和应用层四部分架构。物理层部署了超过 200 台各类传感器，实时采集设备运行状态、环境参数和生产数据，数据采集频率达到每秒 10 次。

数据层采用分布式存储架构，日均处理数据量达到 15TB，实现了对采掘设备、运输车辆和人员定位等数据的统一管理。模型层构建了矿区三维地质模型和设备数字孪生体，模型精度达到厘米级，能够准确反映设备实际运行状态和矿区地质变化情况。应用层开发了设备健康管理、生产调度优化和安全预警三大功能模块，系统响应时间控制在 500 ms 以内。

露天煤矿数字孪生系统关键参数见表 A.1。

表 A.1 露天煤矿数字孪生系统关键参数

参数类别	技术指标	实现效果
数据采集频率	10 次/s	实时监控设备状态
模型精度	5 cm	准确反映地质变化
数据处理量	15TB/天	完整记录生产过程
系统响应时间	≤500 ms	快速响应操作指令
设备覆盖率	100%	全面监控关键设备

A.2 地下金属矿数字孪生应用

某地下金属矿通过数字孪生技术实现了复杂地质条件下的安全高效开采。系统重点解决了巷道支护优化和通风系统仿真两大技术难题。在巷道支护方面，数字孪生模型能够根据岩体力学参数和应力分布情况，自动生成最优支护方案，支护效率提升 40%。

通风系统数字孪生体实现了对井下气流场的三维可视化展示和动态仿真，可根据生产计划提前预测通风要求，优化风机运行参数。系统集成 20 类矿山专用设备的运行数据，构建了包含地质构造、设备状态和生产流程的完整数字孪生体，模型更新周期不超过 30 min，确保数字世界与物理世界的同步性。

地下金属矿数字孪生应用效果见表 A.2。

表 A.2 地下金属矿数字孪生应用效果

应用领域	技术指标	提升效果
巷道支护	方案生成时间 ≤15 min	效率提升 40%
通风优化	能耗降低 25%	风量调节精度 ±5%
设备管理	故障预警准确率 ≥95%	维修响应时间缩短 50%
生产调度	计划调整周期 ≤1 h	资源利用率提高 30%
安全监测	异常识别延迟 ≤10 s	事故率降低 60%

A.3 选矿厂数字孪生应用

某大型选矿厂应用数字孪生技术实现了工艺流程的实时优化和质量控制。系统通过构建破碎、磨矿、浮选等关键工序的数字孪生体，实现了对生产过程的数字镜像。在磨矿环节，数字孪生模型能够根据矿石硬度、给矿量等参数，自动优化钢球配比和磨机转速，使磨矿细度合格率从 82% 提升至 95%。

系统还开发了产品质量预测功能，基于历史数据和实时监测参数，提前 2 h 预测精矿品位，预测准确率达到 90% 以上。通过数字孪生技术的应用，该选矿厂年节约能耗约 1500 t 标准煤，精矿回收率提高 3.2 个百分点，经济效益显著。系统建设过程中充分参考了 GB/T 43441.1 的技术要求，确保了数字孪生体与实际工艺流程的高度一致性。

参 考 文 献

- [1] GB/T 22239—2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- [2] GB/T 28448—2019 信息安全技术 网络安全等级保护测评要求
- [3] GB/T 35273—2020 信息安全技术 个人信息安全规范
- [4] GB/T 42021—2022 工业互联网 总体架构
- [5] GB/T 45626—2025 信息技术 装备数字孪生系统 通用要求
- [6] T/CPUMT AAAA 工业数字孪生总体框架（团体标准）
- [7] ISO/IEC 30173:2023 Digital twin - Concepts and terminology
- [8] ISO 23247 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing

